

**Ist die Zuspitzung
des Musculus Rectus Abdominis in seinem
kaudalen Bereich durch Reduktion der
Faserdicke oder der Faserzahl bedingt?**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Basel

vorgelegt von

Eric Eggenschwiler

von Basel und Matzendorf (Sol.)



19

56

Von der Medizinischen Fakultät Basel
genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. G. Wolf-Heidegger
Tag der Promotion: 23. Dezember 1953



Separatum aus Acta Anatomica Vol. XXVI, No. 3, 1956

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Basel

IST DIE ZUSPITZUNG DES MUSCULUS RECTUS ABDOMINIS IN SEINEM KAUDALEN BEREICH DURCH REDUKTION DER FASERDICKE ODER DER FASERZAHL BEDINGT?

Von ERIC EGGENSCHWILER

Einleitung

Querschnitte durch die Skelettmuskulatur von Mensch und Tier sind schon Gegenstand überaus zahlreicher Untersuchungen gewesen. Der erste, der die Dicke der Skelettmuskelfasern genauer gemessen hat, scheint nach *Häggqvist* [1931] *Bowman* [1840] gewesen zu sein. *Koelliker* [1889] gibt für den Menschen eine Dicke von 11 bis 80 μ an. Dieser Autor berichtet auch, daß am Rumpf und an den Gliedmaßen dickere Fasern zu finden sind als am Kopf, wo sich wiederum die Gesichtsmuskeln durch besonders geringe Dicke auszeichnen sollen. Bereits *Koelliker* stellt fest, daß die Faserdicke innerhalb eines einzelnen Muskels stark variiert. *Halban* [1894] und *Schiefferdecker* [1902 bis 1927] haben die Dickendifferenzen der Muskelfasern in ein und demselben Muskel, die Unterschiede in zwei identischen Muskeln verschiedener Individuen und Differenzen in verschiedenen Muskeln desselben Individuums gemessen. Bekannt sind ebenfalls die Einflüsse von Alter, Geschlecht, Ernährungszustand, Training und Totenstarre auf die Dicke der Muskelfasern (*Hauck* [1900]). *Hopf* hat 1934 am Masseter und *Voß* im gleichen Jahre am Trapezium die Muskelfasern in den einzelnen Portionen dieser Muskeln untersucht und beträchtliche Kaliberunterschiede zwischen den verschiedenen Teilen gefunden. Später hat *Kohashi* [1937] an 40 Muskeln des menschlichen Körpers die Dicke der Muskelfasern bestimmt und dabei in Übereinstimmung mit früheren Arbeiten festgestellt, daß die *Mm. gastrocnemius* und *latissimus dorsi* die dicksten Muskelfasern besitzen im Gegensatz zu den Augenmuskeln, welche die dünnsten Fasern aufweisen. Ferner hat er das Problem der spindeligen Muskeln einer näheren Betrachtung unterzogen.

Auch die vorliegenden Untersuchungen befassen sich mit den spindelförmigen Muskeln, und zwar wurde als Vertreter dieser Gruppe der *M. rectus abdominis* des Menschen gewählt. Bekanntlich verdünnen sich die Muskeln vom Spindeltyp auf der Strecke zwischen Muskelbauch und Sehnenansatz beträchtlich. Dabei stellt sich

die Frage, wie dieses kontinuierliche Dünnerwerden zustande kommt, und welche Bauveränderungen im Muskel während der Zuspitzung vor sich gehen. Wird bei Verjüngung des Muskelbauches der einzelne Muskelfaserquerschnitt kleiner, nimmt die Faserzahl ab, oder trifft eventuell beides gleichzeitig zu?

Kohashi [1937] hat in seiner Arbeit dieser Frage einige Bedeutung beigegeben und fertigte deshalb bei spindeligen Muskeln Schnitte sowohl durch den proximalen und distalen Teil wie auch durch die Bauchmitte an. In jedem dieser Schnitte zählte er 100 Fasern aus. Dabei stellt er fest, daß die *Mm. biceps brachii*, *sartorius*, *sternocleidomastoideus*, *psaos major* und *extensor carpi ulnaris proximal*, aber besonders distal dünnere Muskelfasern aufweisen als in der Bauchmitte. Als Gegenstück dazu bemerkt er, daß an den *Mm. vastus lateralis*, *medialis* und *intermedius* die Fasern in der Mitte des Muskelbauches dünner seien als im distalen Teil. Die Zahl von nur 100 Fasern pro Muskelquerschnitt, die *Kohashi* gemessen hat, ist wohl zu klein, um statistisch einwandfreie Feststellungen zu erlauben. Angesichts der großen Zahl der von diesem Autor untersuchten Objekte war freilich die Berücksichtigung größerer Fasermengen kaum möglich.

Im Gegensatz zu diesen Untersuchungen hat *Feneis* [1935] in einer Arbeit festgestellt, daß beim Spindeltyp nicht, wie es oft beschrieben wird, alle Muskelfasern auf gleicher Höhe in die Sehne übergehen, sondern daß sich auch hier genau gleich wie beim einfach gefiederten und doppelt gefiederten Typ gestaffelte, d.h. auf verschiedene Querschnittshöhen verteilte Muskelsehnen-Übergänge finden. Die Verjüngung des Muskelbauches gegen den Sehnenübergang hin könnte somit auch dadurch bedingt sein, daß die Muskelfasern auf verschiedener Querschnittshöhe in ihre Sehne übergehen und so eine allmähliche Abnahme der Faserzahl gegen den Ansatz hin zustandekommt.

Kohashi hat unser Untersuchungsobjekt, den Musculus rectus abdominis nicht genauer untersucht, sondern hat nur einen einzelnen Schnitt durch den Muskel gelegt und bei Messung von 100 Fasern gefunden, daß der durchschnittliche Faserquerschnitt $1060 \mu^2$ beträgt. *Schwalbe* und *Mayeda* [1890] hingegen sprechen von größeren Werten und geben an, daß die Dicke der Fasern zwischen $22,8-91,2 \mu$ schwanke und im Durchschnitt $52,5 \mu$ betrage. Das entspräche einem Querschnittswert von über $2000 \mu^2$.

Material und Methodik

Der *M. rectus abdominis* ist bekanntlich ein ca. 40 cm langer, maximal 7 cm breiter, in sagittaler Richtung abgeplatteter Muskel, der sich zu beiden Seiten der Medianlinie des Bauches befindet. Er entspringt mit drei stufenförmig von medial nach lateral aufeinanderfolgenden Zacken von der Außenfläche des 5.-7. Rippenknorpels. Das ganze Muskelband ist durch 3-4 quere, bis zu 1 cm hohe *Inscriptiones tendineae* in 4-5 Segmente geteilt. Der Ansatz erfolgt mittels einer kurzen, platten Sehne am kranialen Rand des Schambeins zwischen *Tuberculum pubicum* und Symphyse. Die Sehnenfasern beider Muskeln durchkreuzen sich zum Teil vor der Symphyse und verwachsen mit der Symphysenscheibe. Der kraniale Abschnitt behält bis zur Nabelhöhe annähernd gleiche Breite oder wird nur wenig schmaler, der kaudale dagegen verschmälert sich gegen die Insertion hin beträchtlich. Im ganzen schließt sich der Medialrand des Muskels genau der Kontur der *Linea alba* an, während der Lateralrand vom Nabel an rascher und meist mit geringer lateraler Konvexität medianwärts gegen den Ansatz hin abbiegt. Die Muskelfaserbündel

sind longitudinal parallel geordnet. Nur im letzten kaudalen Abschnitt tritt eine leichte Konvergenz der Bündel kaudal- und medianwärts auf, so daß der Muskel vor dem makroskopischen Übergang in die Sehne nur noch 25–30 mm breit ist. Diese Verschmälerung des Muskels in seinem kaudalen Bereich ist Gegenstand unserer Untersuchungen. Außer seiner Hauptinsertion besitzt der Rectus noch eine weniger leicht bemerkbare an der Linea alba, worauf *Nicaise* [1866] aufmerksam gemacht hat. Bereits 3–5 cm kaudal vom Nabel beginnen mediale Randbündel des Muskels ihre in transversaler Richtung abgeplatteten Sehnen in den dorsalen Abschnitt der Linea alba zu schicken (*Eisler* [1912]).

Wir untersuchten den *M. rectus abdominis* von fünf Individuen, nämlich von zwei Frauen (47 und 28 Jahre alt) und drei Männern (48, 40 und 49 Jahre alt). Bei allen fünf Leichen war nur der Muskel einer Seite zu gebrauchen, da der andere bei der Sektion verletzt worden war. In zwei weiteren Fällen (28- und 32jährige Männer) konnten wir die beidseitigen Muskeln im Zusammenhang mit der Linea alba herausnehmen; diese Präparate wurden zur Abfaserung benutzt. In allen Fällen handelte es sich um Suizid oder plötzlichen Tod¹. Sämtliche Muskeln konnten in den ersten Stunden post mortem entnommen werden. Die Fixation der Präparate erfolgte unmittelbar nach der Entnahme in Susa. Kranial, wo der Muskel noch seine größte Breite hat und kaudal, wo er sich bereits beträchtlich verschmälert hat, wurden nach der Überführung in 96 %igen Alkohol Stücke herausgeschnitten, und die vollkommen entwässerten Präparate über Methylbenzoat-Benzol in Paraffin eingebettet. Dicke der mikroskopischen Schnitte: 10 μ . Färbung: Azan und *Heidenhains* Eisenhämatoxylin.

Bei der mikroskopischen Betrachtung wählten wir vorerst in jedem Falle sowohl vom kranialen, als auch vom kaudalen Schnitt 10 Faserbündel aus, um so pro Schnitt 1000 Faserquerschnitte messen zu können. Echte Faserquerschnitte ließen sich von Schrägschnitten leicht dadurch unterscheiden, daß die ersteren sich bei Auf- und Niederdrehen der Mikrometerschraube nicht verschieben, während die letzteren eine schräge Verschiebung erkennen lassen. Am Projektionsapparat zeichneten wir bei 200facher Vergrößerung von jedem Schnitt 10 Faserbündel auf Zeitungspapier. Mit Hilfe einer kleinen Stickschere wurden die einzelnen Faserquerschnitte sorgfältig und genau ausgeschnitten und in die einzelnen Faserbündel unterteilt geordnet. Auf einer analytischen Waage stellten wir dann zuerst das Gewicht von 5 Einheiten Zeitungspapier von je 100 cm² fest, wobei wir die Wägungen für jede Einheit fünfmal ausführten und den Durchschnittswert ermittelten. Das Gewicht schwankte zwischen den einzelnen Einheiten von 511,6 bis 515,26 mg und betrug im Mittel 513,7 mg. 1 mg Zeitungspapier entspricht also bei Abrechnung der 200fachen Vergrößerung 486,67 μ^2 . Das durchschnittliche Gewicht der einzelnen nach Entfernung des zwischenfaserigen Bindegewebes ebenfalls fünfmal gewogenen Faserbündel schwankte zwischen 160 und 800 mg, wobei die Streuung bei 5 Wägungen für jedes Bündel nur 0,4–0,5 mg ausmachte. Durch Multiplikation des Faserbündelgewichts in mg mit 486,67 konnten wir die von den Muskelfasern eingenommene Fläche innerhalb eines Bündels und damit, bei Teilung durch die Faserzahl, den durchschnittlichen Faserquerschnitt in diesem Bündel errechnen. Anfänglich

¹ Herrn PD Dr. *Jürg Im Obersteg*, Vorsteher der Anstalt für gerichtliche Medizin der Universität Basel danke ich verbindlichst für die Überlassung des Materials.

ergaben sich ziemliche Schwierigkeiten, denn das Zeitungspapier änderte sein Gewicht je nach Luftfeuchtigkeit beträchtlich. Deshalb mußten wir unsere Wägungen in einem mit einer Klimaanlage versehenen Raum vornehmen. Wir konnten dort bei konstanter Luftfeuchtigkeit von 50 % und einer Temperatur von 20° C arbeiten. Auf diese Weise blieben die durch Wägung ermittelten Werte sehr konstant und wichen auch bei späterer Kontrolle nicht mehr ab.

Mit dem geschilderten Untersuchungsverfahren wird natürlich nicht die Dicke der Muskelfasern im lebenden Zustande erfaßt. Es besteht eine Reihe von Abweichungs- bzw. Fehlerquellen, wie Zeitspanne vom Tode bis zur Fixierung, Art der Fixierung, Entwässerung und Einbettung. Dies alles wirkt quellend und entquellend auf die Muskelfaser und ändert damit auch ihre Dicke. Diese Fehlerquellen sind jedoch für unsere Untersuchungen ohne Bedeutung, da es sich für uns nicht darum handelt, absolute Werte, sondern lediglich Vergleichswerte zwischen kranialer und kaudaler Schnittregion zu erhalten. Diese Vergleichswerte erhalten wir jedoch ohne Zweifel, da alle vorhin erwähnten Fehlerquellen in gleicher Weise auf den ganzen Muskel eingewirkt haben.

Endlich stellten wir in zwei Fällen Abfaserungspräparate her, indem wir die Muskeln folgender, von *Ludwig* [1952] angegebenen Behandlung unterzogen:

1. Gemisch von 1 Teil 25 %iges Acidum nitricum, 2 Teilen Glycerinum purum und 2 Teilen Aqua dest.: 24 h.
2. 5 %ige wäßrige Glyzerinlösung: 5 Tage.
3. 96 %iger Alkohol bis zur Präparation.

Zur Präparation Färbung mit Pikrofuchsin 3 Min. und zweimaliges kurzes Auswaschen in 96 %igem Alkohol. Die Präparation erfolgte in einer mit schwarzer Wachsmasse ausgegossenen Photoschale, die mit 96 %igem Alkohol gefüllt wurde. Die präparierten Stückchen konnten auf diese Weise mit Igelstacheln angeheftet werden, und das Präparat konnte jederzeit nachgefärbt werden. Zur Präparation benutzten wir zwei Präpariernadeln und eine Uhrmacherpinzette. Mit Hilfe einer Brillenlupe ließen sich einzelne Faserbündel, bei sorgfältiger Behandlung auch einzelne Fasern bequem abpräparieren. So konnte festgestellt werden, auf welcher Höhe der Übergang der Muskelfasern in die Sehne erfolgt.



Abb. 1. Querschnitt durch ein Faserbündel des M. rectus abdominis bei 150facher Vergrößerung.

Untersuchungsergebnisse

A. Faserquerschnitte

Die Querschnittsform der einzelnen Fasern ist meist unregelmäßig vieleckig, mit mehr oder weniger abgerundeten Ecken (Abb. 1). Es fällt sofort auf, daß die Fasern neben der unregelmäßigen Gestalt auch recht unterschiedliche Dicken aufweisen.

Tabelle 1 zeigt das starke Schwanken sowohl der Faserzahl als auch des durchschnittlichen Faserquerschnittes in den verschiedenen Bündeln des Muskels.

Aus Tabelle 2 geht hervor, daß *Fall 1* (47jährige Frau) relativ dünne Muskelfasern zeigt; der durchschnittliche Faserquerschnitt ist kranial und kaudal identisch.

Tabelle 1. Durchschnittlicher Faserquerschnitt in jedem einzelnen Bündel und Gesamtdurchschnitt aller 10 Bündel in *Fall 1*.

Fall 1. 47jährige Frau (Suizid).

Bündel Nr.	Faserzahl	kranial	Faserzahl	kaudal
		durchschnittlicher Faserquerschnitt in μ^2		durchschnittlicher Faserquerschnitt in μ^2
1	77	1612,8	97	1794,9
2	85	2060,4	101	1838,1
3	108	1707,0	104	1533,0
4	123	1318,0	141	1870,9
5	143	1639,9	142	1445,1
6	118	2360,3	146	1592,4
7	132	1539,7	56	1868,7
8	77	1483,7	72	1601,1
9	62	1297,7	62	1692,0
10	75	1293,3	79	1355,2
Total	1000	1653,8	1000	1652,6

Fall 2 (28jährige Frau) besitzt etwas dickere Fasern, zeigt aber ebenfalls im kranialen und kaudalen Schnitt einen identischen durchschnittlichen Faserquerschnitt.

Fall 3 (48jähriger Mann) weist sehr dicke Fasern auf. Auch die Schwankungen zwischen den Bündeln mit maximalem und minimalem durchschnittlichem Faserquerschnitt sind beträchtlicher als in allen anderen Fällen. Die Abweichung des Gesamtdurchschnittes zwischen kranial und kaudal ist ebenfalls größer, hat doch der kraniale Schnitt um $162,7 \mu^2$ dickere Fasern als der kaudale. Dieser Unterschied wurde vom Kantons-Statistiker Herrn Dr. Guth¹ sta-

¹ Herrn Dr. H. Guth danke ich bestens für seine mühevollen, zeitraubenden Arbeit.

Tabelle 2. Differenzen zwischen den durchschnittlichen Faserquerschnitten der einzelnen Bündel und Gesamtdurchschnitt der Faserquerschnitte in jedem Schnitt.

		Bündel mit dem durchschnittlich kleinsten Faserquerschnitt in μ^2	Schwankung in μ^2	Bündel mit dem durchschnittlich größten Faserquerschnitt in μ^2	Gesamtdurchschnitt in μ^2
<i>Fall 1.</i> 47jährige Frau Suizid.	<i>kranialer Schnitt</i>	1293,3	1067,0	2360,3	1653,8
	5,4 cm oberhalb des Sehnenansatzes <i>kaudaler Schnitt</i> 2,6 cm oberhalb des Sehnenansatzes	1355,2	515,7	1870,9	1652,6
<i>Fall 2.</i> 28jährige Frau Suizid.	<i>kranialer Schnitt</i>	1622,0	747,9	2369,9	1873,6
	5,7 cm oberhalb des Sehnenansatzes <i>kaudaler Schnitt</i> 3,0 cm oberhalb des Sehnenansatzes	1587,2	813,9	2401,1	1878,2
<i>Fall 3.</i> 48jähriger Mann CO-Vergiftung	<i>kranialer Schnitt</i>	1697,4	1809,5	3506,9	2461,2
	8,2 cm oberhalb des Sehnenansatzes <i>kaudaler Schnitt</i> 3,5 cm oberhalb des Sehnenansatzes	1640,7	1702,3	3343,0	2298,5
<i>Fall 4.</i> 40jähriger Mann Suizid.	<i>kranialer Schnitt</i>	1406,1	779,5	2185,6	1695,8
	7,7 cm oberhalb des Sehnenansatzes <i>kaudaler Schnitt</i> 3,4 cm oberhalb des Sehnenansatzes	1253,3	1049,8	2303,1	1643,4
<i>Fall 5.</i> 49jähriger Mann Herzinfarkt	<i>kranialer Schnitt</i>	1412,4	1100,6	2513,0	1917,8
	9,0 cm oberhalb des Sehnenansatzes <i>kaudaler Schnitt</i> 4,0 cm oberhalb des Sehnenansatzes	1705,0	811,7	2516,7	2021,9

tistisch geprüft. Die Prüfung ergab, daß er innerhalb der Grenzen einer zufälligen Abweichung von 0 liegt, daß also auch dieser Unterschied nicht als signifikant anzusehen ist.

Fall 4 zeigt sehr dünne Fasern, ebenso wie *Fall 1*, obwohl es sich hier um den Muskel eines 40jährigen Mannes handelt. Auch hier sind die Fasern im kranialen Schnitt dicker als im kaudalen, jedoch ist der Unterschied weniger auffällig ($52,4 \mu^2$) als im vorhergehenden Fall.

Fall 5 (49jähriger Mann) hat recht dicke Muskelfasern und weist im Gegensatz zu den vorigen Fällen im kaudalen Teil durchschnittlich um $104,1 \mu^2$ dickere Fasern auf als im kranialen.

Zusammenfassend ist somit festzustellen, daß die durchschnittlichen Muskelfaserdicken im kranialen und kaudalen Schnitt nur recht unerheblich voneinander abweichen. Ein signifikanter Unterschied läßt sich nicht feststellen. In zwei Fällen ist der Querschnitt kranial und kaudal praktisch identisch, in weiteren zwei Fällen sind die Fasern kranial dicker und schließlich im letzten Fall sind sie kaudal dicker. Unbedingt müssen wir uns auch bewußt sein, daß es sich immer nur um eine relativ kleine Auswahl aus einer Unmenge von Fasern gehandelt hat, und daß erwartungsgemäß auch der Faktor Zufall bei der individuellen Auswahl mitspielt. Deshalb konnten das eine oder andere Mal etwas größere Differenzen zustandekommen, und zwar sowohl nach der einen wie nach der anderen Seite. Gerade der Umstand, daß die Fasern in einem Falle kranial, in einem anderen Falle kaudal dicker waren, spricht im Sinne einer zufälligen Abweichung, so daß die Verjüngung des *M. rectus abdominis* gegen den Ansatz hin in den von uns untersuchten Muskeln nicht durch Abnahme der Faserdicke nach unten erklärt werden kann. Werte, wie sie *Kohashi* für andere Muskeln gefunden hat, treffen somit für den *M. rectus abdominis* nicht zu.

B. Faserkaliberkurven

Aus jedem Schnitt wurde ein Bündel herausgegriffen, und in diesem haben wir sämtliche Faserquerschnitte einzeln gewogen. Die Werte wurden zur Aufstellung von Faserkaliberkurven verwendet. Die maximalen gewichtsmäßigen Schwankungen bei drei Wägungen betrugen 0,1 mg. Die einzelnen Faserquerschnitte waren in *Fall 1* 0,3–7,0 mg, in *Fall 2* 0,4–7,6 mg, in *Fall 3* 0,4–16,6 mg und in *Fall 4* und *5* bis 9,4 mg schwer. Auch hier zeigt also *Fall 3* wieder die weitaus größten Schwankungen und die unterschiedlichste Dicke der Muskelfasern, sogar innerhalb des gleichen Bündels. Für die Aufstellung von Kurven wurden die Fasern in um 0,4 mg steigende

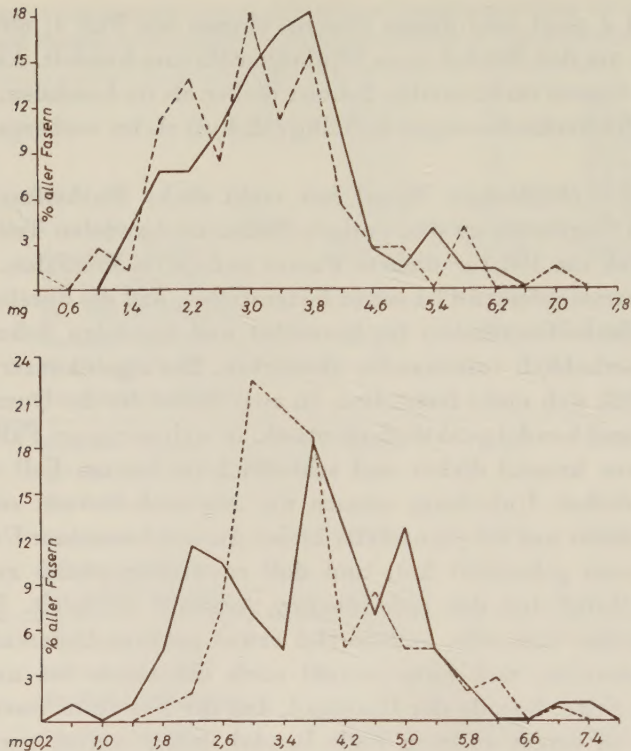


Abb. 2. Faserkaliberkurven von Fall 1 und 2. — kranial, kaudal.
 Fall 1 kranial: Bündel No. 1: 77 Fasern, durchschnittlicher Faserquerschnitt $1612,8 \mu^2$. Kaudal: Bündel No. 8: 72 Fasern, durchschnittlicher Faserquerschnitt $1601,1 \mu^2$. — Fall 2 kranial: Bündel No. 1: 87 Fasern, durchschnittlicher Faserquerschnitt $1843,7 \mu^2$. Kaudal: Bündel No. 9: 107 Fasern, durchschnittlicher Faserquerschnitt $1835,3 \mu^2$.

Gruppen aufgeteilt: 0–0,4 mg, 0,4–0,8 mg, 0,8–1,2 mg usw. bis 16,4–16,8 mg.

Aus den Faserkaliberkurven ist festzustellen, daß nicht nur, wie oben erwähnt, die einzelnen Faserbündel einen sehr verschiedenen durchschnittlichen Muskelfaserquerschnitt haben, sondern daß auch die Bündel selbst aus sehr verschieden dicken Fasern aufgebaut sind. Neben Fasern eines nicht zu verkennenden Größentyps sind andere in den Muskel eingestreut, die bedeutend dünner oder dicker sind als die überwiegende Mehrzahl der Fasern. Nach der Ansicht von Schiefferdecker [1902 bis 1927], Halban [1894] und Wohlfahrt [1935] kann die unterschiedliche Größe der Muskelfaserquerschnitte auf zwei verschiedene Arten erklärt werden:

1. kann der Muskel tatsächlich aus verschiedenen dicken Fasern, die in ihrer ganzen Länge ein größeres oder kleineres Kaliber zeigen, aufgebaut sein. Diese verschiedene Dicke wäre nach *Halban* auf ein ungleiches Wachstum der einzelnen Fasern desselben Muskels zurückzuführen, und nach *Schiefferdecker* entspräche die unterschiedliche Dicke einer verschiedenen funktionellen Bedeutung.

2. aber könnten die kleineren und kleinsten Querschnitte von den Enden derjenigen Muskelfasern stammen, welche im Muskel selbst ihr Ende oder ihren Anfang nehmen. Solche spitzen Enden von Muskelfasern innerhalb des Muskels wurden von den verschiedensten Autoren beschrieben. So z.B. von *Rollett* [1856 und 1885], *Biesiadecki* und *Herzig* [1858], *Morpurgo* [1897], *Bardeen* [1903], *Heidenhain* [1911], *Schaffer* [1933] und *Schimert* [1934]. *Bardeen* [1903] z.B. schreibt zu seinen Untersuchungen am *M. obliquus abdominis externus* des Meerschweinchens: «Die intrafaszikuläre Endigung geschieht so, daß die Muskelfaser innerhalb eines Bündels anderer Fasern endet, indem sie ganz allmählich spitz zuläuft und fadenähnlich dünn endet. Nahe dem äußersten Ende war eine solche Faser 4 μ dick, 1 mm vor dem Ende 40 μ und in der Gegend der größten Dicke 2,5 cm vor dem Ende 100 μ dick.»

Häggqvist [1931], *Schimert* [1934] und *Wohlfahrt* [1935] bemerken in Übereinstimmung mit *Koelliker* [1889], daß die Mehrzahl der Skelettmuskelfasern beim Menschen bedeutend kürzer sei als der Muskel selbst, denn die Muskelfasern sollen ja nach *Froriep* [1878] und *Felix* [1887] nur bis 12 cm Länge erreichen. Die kleinsten Faserquerschnitte könnte man deshalb sehr wohl als diese verschmälerten Enden der Muskelfasern ansehen. Die größten Faserquerschnitte hingegen dürften durch die Mitte von dicken Fasern gehen, und die übrigen, mitteldicken Querschnitte würden durch diejenigen Teile der Muskelfasern gehen, die zwischen der dicksten Mitte und dem Ende liegen, und machen somit weitaus den größten Teil aus. *Schwalbe* und *Mayeda* [1890] haben in ihren Faserkaliberkurven an 63 menschlichen Muskeln Schwankungen um das 4–5fache gefunden. Bei den von uns aufgestellten Kurven sind die Schwankungen noch viel beträchtlicher.

Viele Kurven zeigen nur einen ausgesprochenen Gipfel, es dominiert also eine bestimmte Kaliberdicke im Faserbündel. Bei anderen Kurven wiederum finden sich zwei bis drei Gipfel, die je nach dem weit auseinander liegen können. Im 4. Fall dominierte sogar überhaupt keine bestimmte Faserdicke, sondern zwischen 1,4

und 6,4 mg fanden sich lauter kleinere Erhebungen, ohne je einem eigentlichen Gipfelpunkt zuzustreben.

Im allgemeinen stimmen die Kurven vom kranialen und kaudalen Schnitt weitgehend miteinander überein, obwohl die Maxima auch bei gleichem durchschnittlichem Faserquerschnitt von kranial und kaudal doch recht erheblich voneinander entfernt liegen können.

C. Faserzahl

Die Bestimmung der ungefähren Faserzahl in den Gesamtquerschnitten der Muskeln nahmen wir in folgender Weise vor:

Bei 30facher Vergrößerung wurden sämtliche Faserbündel des ganzen Muskelquerschnittes im kranialen und kaudalen Schnitt gezeichnet, ausgeschnitten und ebenfalls gewogen. Auf diese Art konnten wir das Bindegewebe zwischen den Muskelfaserbündeln eliminieren und erhielten die von sämtlichen Faserbündeln des M. rectus abdominis eingenommene Fläche. Um nun eine annähernd genaue Faserzahl zu erhalten, mußten wir auch noch das zwischenfaserige Bindegewebe ausschalten. Dies wurde dadurch erreicht, daß wir das Gewicht der bei 200facher Vergrößerung von jedem Schnitt gezeichneten 10 Faserbündel sowohl ausgeschnitten als auch unausgeschnitten bestimmten. Es ergab sich dabei, daß in unseren fünf Fällen die Muskelfasern durchschnittlich nur 73,63% des Gesamtquerschnittes eines Faserbündels einnehmen, während die restliche Fläche hauptsächlich zwischenfaseriges Bindegewebe enthält. Deshalb mußten wir den in Kolonne 2 der untenstehenden Tabelle 3 aufgeführten Gesamtquerschnittswert aller Faserbündel um 26,37% kürzen, um annähernd die von den Muskelfasern eingenommene Fläche zu erhalten. Diesen gekürzten Betrag endlich, dividierten wir durch den mittleren Querschnitt der einzelnen Muskelfaser im betreffenden Schnitt und erhielten so die ungefähre Faserzahl.

Fall 1 und *5* verhalten sich identisch und zeigen kranial eine größere Faserzahl als alle anderen Fälle. Im kaudalen Schnitt hingegen weisen sie, im Vergleich mit den übrigen Fällen, eine sehr geringe Faserzahl auf. Zwischen kranial und kaudal ist also eine beträchtliche Faserzahlabnahme um 65% resp. 69% eingetreten. Auch der Querschnitt der gesamten Muskelmasse des M. rectus abdominis ist in diesen zwei Fällen kaudal klein, die Verschmälerung gegen den Ansatz hin somit sehr ausgesprochen. Betrachtet man die kaudalen Schnitte von *Fall 1* und *5* im Mikroskop, so kann man

Tabelle 3. Faserzahl des Gesamtmuskels im kranialen und kaudalen Schnitt und Faserzahl in %.

		Gesamter Muskel- querschnitt in cm ² = 100 Mill. μ^2	Gesamt- querschnitt aller Faserbündel im Muskel in μ^2	Durchschnitt- licher Faser- querschnitt in μ^2	Gesamte Faser- zahl pro Schnitt	Faserzahl in %
<i>Fall 1</i>	kranial	3,660	316 713 690	1653,8	141 100	100
	kaudal	1,511	111 848 902	1652,6	49 800	35,3
<i>Fall 2</i>	kranial	3,722	346 525 745	1873,6	136 200	100
	kaudal	2,461	225 033 656	1878,2	88 200	64,8
<i>Fall 3</i>	kranial	4,010	312 411 318	2461,2	93 500	100
	kaudal	2,858	237 788 714	2298,5	76 200	81,5
<i>Fall 4</i>	kranial	2,813	244 707 035	1695,8	106 300	100
	kaudal	2,069	177 363 466	1643,4	79 500	74,8
<i>Fall 5</i>	kranial	5,676	447 697 191	1917,8	171 900	100
	kaudal	1,785	146 579 198	2021,9	53 400	31,05

gleichzeitig feststellen, daß sich im Schnitt sehr viel Sehnengewebe findet (10,4 bzw. 7,9% des Gesamtquerschnittes), und zwar liegt es hauptsächlich an der Oberfläche des Muskels, in Form eines sog. Sehnenspiegels. Daneben reicht es aber teilweise auch mehr oder weniger weit ins Innere des Muskels. Es müssen folglich in Fall 1 und 5 schon sehr viele Muskelfasern weiter kranial in ihre Sehnenfasern übergegangen sein, wodurch eine starke Verschmälerung des Gesamtmuskels nach kaudal zustandegekommen ist.

Die restlichen drei Fälle zeigen eine wesentlich geringere Faserzahlabnahme im kaudalen Bereich. Am ausgesprochensten ist sie noch in *Fall 2*, wesentlich geringer in *Fall 4*. Der Anteil des Sehnengewebes im kaudalen Schnitt beträgt in diesen Fällen 3,3 resp. 4,3%. *Fall 3* zeigt eine ganz schwache Faserzahlreduktion, indem kaudal noch 81,5% der Faserzahl von kranial vorhanden sind. Dieser Muskel hat sich deshalb auf der Höhe des kaudalen Schnittes noch sehr wenig verschmälert, und es findet sich, wenn man den kaudalen Schnitt im Mikroskop betrachtet, auch sehr wenig Sehnengewebe im Präparat (1,8% des Gesamtquerschnittes), so daß also hier erst eine relativ kleine Zahl von Muskelfasern in Sehnengewebe übergegangen sein kann. Doch ist auch hier die Faserzahlabnahme mit 18,5% noch recht deutlich. Dieser Fall zeigt auch makroskopisch eine recht geringe spindelige Zuspitzung gegen den Ansatz hin.

Um einen noch etwas klareren Einblick in die Verhältnisse zu erhalten, haben wir in *Fall 5* zwei zusätzliche Schnitte durch den Muskel angefertigt, nämlich den einen zwischen dem üblichen kranialen und kaudalen Schnitt und den andern zwischen dem kaudalen Schnitt und dem Sehnenansatz. So war es uns möglich, die Verschmälerung und Faserzahlabnahme des Muskels sowie gleichzeitig die Zunahme des Sehnengewebes in den kaudalen Schnitten auf vier verschiedenen Querschnittshöhen zu verfolgen.

Tabelle 4. Faserzahlabnahme und Verhältnis Muskulatur/Sehnengewebe in 4 verschiedenen Schnitten von Fall 5.

	Schnitthöhe in cm oberhalb von Sehnenansatz	Gesamt- querschnitt in cm ² (Muskel + Sehne + BG)	Durchschnitt- licher Faser- querschnitt in μ^2	Muskelfaserzahl im betreffenden Schnitt	Faserzahl in %	% Muskulatur im Schnitt	% Sehnengewebe im Schnitt
I.	9	5,67	1917,75	171 900	100	100	0
II.	6	3,94	2035,38	141 100	82,1	99,8	0,2
III.	4	1,78	2021,85	53 400	31,05	92,1	7,9
IV.	3,2	0,58	1978,72	11 350	6,6	72,5	27,5

Das Resultat dieser Untersuchungen ist in Tabelle 4 zusammengefaßt. Schon rein makroskopisch betrachtet ist die Abnahme des Gesamtquerschnittes nach kaudal sehr beträchtlich. Die Faserzahl hat bis zum kaudalsten Schnitte um 93,4% abgenommen, und es zeigt sich, daß diese Abnahme auf der Höhe zwischen 6–3,2 cm oberhalb des Sehnenansatzes besonders stark ist. Entsprechend der Faserzahlreduktion verschiebt sich auch das Verhältnis von Muskulatur und Sehnengewebe nach kaudal immer mehr zugunsten der Sehne. So findet sich im kaudalsten Schnitte schon 27,5% Sehnengewebe und nur noch 72,5% Muskulatur. Dieses Verhältnis verlagert sich, je näher wir zum Sehnenansatz kommen, immer mehr zugunsten des Sehnengewebes.

Zusammenfassend kann somit gesagt werden, daß die Verschmälerung des Muskelbauches gegen den Ansatz hin nicht durch Abnahme des Querschnittes der einzelnen Muskelfaser bedingt ist, sondern daß die Faserzahl gegen die Insertion hin bedeutend abnimmt. Bei starker Faserzahlabnahme findet sich viel Sehnengewebe im kaudalen Schnittpräparat; viele Muskelfasern müssen

also schon weit kranial in Sehnengewebe übergegangen sein. Um diese Feststellung weiter zu klären, haben wir in zwei Fällen Abfaserungspräparate hergestellt.

D. Abfaserungspräparate

Die Abnahme der Faserzahl nach kaudal könnte auf 3 verschiedene Arten zustandekommen:

1. Dadurch, daß die Fasern nach kaudal spitz zulaufen und frei innerhalb des Muskels endigen. Diese Möglichkeit kann nicht zutreffen, da der durchschnittliche Faserquerschnitt kranial und kaudal praktisch identisch ist, und demnach kaudal nicht mehr dünne Enden von Muskelfasern bestehen können als kranial.

2. Dadurch, daß kaudal vom Nabel mediale Randbündel des Muskels mit platten, kurzen Sehnen in die Linea alba übergehen, worauf schon *Nicaise* [1866] aufmerksam gemacht hat, und was von *Straßer* [1913] und *Eisler* [1912] bekräftigt wird. Auch wir konnten feststellen, daß vom medialen Teil des Muskels ganze Faserbündel in die Linea alba einstrahlen (siehe Abb. 3). Es handelt sich jedoch nur um eine relativ geringe Zahl von Faserbündeln, so daß die Abnahme der Faserzahl nach kaudal nicht allein dadurch erklärt werden kann. Diese Fasern könnte man mit Kapselspannern an den Gelenken vergleichen und ihre Funktion im Sinne einer Raffung der Linea alba bei Ventralflexion interpretieren.

3. Dadurch, daß die Muskelfasern nicht alle auf derselben Querschnittshöhe in die Sehne übergehen, sondern auf verschiedener Höhe und gruppenweise. Diese Ansicht wurde besonders von *Feneis* [1935] vertreten. Er schreibt darüber in seiner Arbeit: «Bei dem unipennaten und bipennaten Typ ist es wohl ohne weiteres klar, daß die Muskelfasern gruppenweise in verschiedenen Höhen in die Sehne übergehen. Hingegen wird der Spindeltyp in Lehrbüchern zuweilen so dargestellt, als ob alle Muskelfasern in gleicher Querschnittshöhe in die Sehne übergängen. Es muß ausdrücklich betont werden, daß diese Vorstellung falsch ist. Die Sehnen reichen auch beim Spindeltyp entweder oberflächlich oder in der Tiefe flächenhaft an den Fleischkörper des Muskels heran, so daß auch hier ein staffelförmiger Ansatz zustandekommt, der bei entsprechender Schnittführung unipennate oder bipennate Fleischfaseranordnung erkennen läßt. Auch diese Muskeln sind also gefiedert, nur ist der Fiederungswinkel so klein, daß er nicht beachtet wird.» Die Ursache für dieses

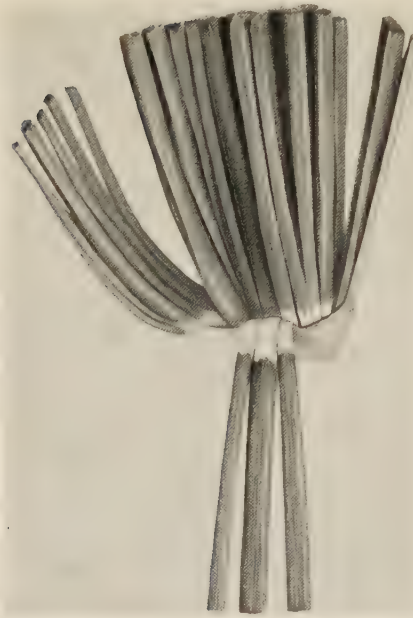


Abb. 3. Halbschematische Zeichnung eines Abfaserungspräparates. Auf der rechten Seite die Linea alba mit einstrahlenden Faserbündeln. Die ventralsten Muskelfaserbündel sind zur Sichtbarmachung der weiter zentral gelegenen Faserbündel nach unten geklappt.

Verhalten sieht *Feneis* darin, daß, wenn alle Fleischfasern auf gleicher Höhe in die Sehnenfasern übergangen, sich die Sehnenfasern erst allmählich zu einem zugfesten Strange verflechten könnten und zwischen den muskelnahen Teilen der Sehnenfibrillen viel toter Raum entstände. Bei der Muskelkontraktion würden sich die Zwischenräume zwischen den Sehnenfasern durch Dickenzunahme der Muskelfasern noch vergrößern. *Feneis* hat am *M. biceps brachii* jede Fleischfaser kurz vor dem Sehnenübergang abgeschnitten und erhält so ein Bild, wo die Sehnenfläche hinter jeder Querschnittsfläche eines kleinen Faszikels ein bestimmtes Stück lang frei von Muskel-Sehnen-Übergängen bleibt, und erst dann findet der nächste Übergang in die Sehne statt. Den Abstand der Verknüpfungsstellen zweier Fleischfasern bezeichnet er als «Höhendifferenz». Am *M. semimembranaceus* erfolgt der Übergang der Muskelfasern von beiden Seiten gestaffelt in ein ganzes Sehnenblatt.

An unseren Abfaserungspräparaten konnten wir für den *M. rectus abdominis* feststellen, daß auch hier die Muskelfasern nicht alle in der gleichen Höhe in die Sehne übergehen, sondern daß sich ebenfalls gestaffelte, auf verschiedene Querschnittshöhen verteilte Muskel-Sehnen-Übergänge finden. Es reichen hier recht große Sehnenblätter an der Oberfläche des Muskels als sog. Sehnenspiegel

weit nach kranial (Abb. 3). Auf diese Weise können schon sehr viele Muskelfasern hoch oben in ihre Sehnen übergehen. Daneben gibt es auch im Innern des Muskels vereinzelte Ansammlungen von Sehnengewebe, die meist mit den Sehnenspiegeln in Zusammenhang stehen und weit nach kranial reichen. An anderen Stellen im Muskelinnern dagegen findet man überhaupt kein Sehnengewebe. Dort kann man die Muskelfasern sehr weit nach kaudal verfolgen, und man sieht sie erst sehr spät in kurze Sehnenfasern übergehen. Oft reichen die Muskelfasern soweit nach kaudal, daß der Sehnenübergang am Abfaserungspräparat nur sehr schwierig festgestellt werden kann. Alle diese Befunde stimmen vollkommen mit dem Aspekt der mikroskopisch untersuchten Muskelquerschnitte überein. Denn auch dort wurde festgestellt, daß im kaudalen Schnitt hauptsächlich an der Oberfläche des Muskels Sehnengewebe vorhanden ist, daß es aber vereinzelt auch bis ins Muskelinnere reicht.

Die spindelige Verdünnung des Muskelbauches des *M. rectus abdominis* gegen den Ansatz hin wird folglich dadurch bewirkt, daß der Übergang des Muskels in die Sehne für einzelne Gruppen von Faserbündeln auf verschiedener Höhe erfolgt. Einzelne Bündel gehen weit kranial in lange Sehnenblätter über, andere wiederum laufen beträchtlich weit nach kaudal, um dort in relativ kurze Sehnen überzugehen.

E. Schlußbetrachtungen

Wenn wir unsere Untersuchungen überblicken, so ergeben sich folgende Feststellungen: Der Gesamtmuskel-Querschnitt des *M. rectus abdominis* verschmälert sich nach kaudal gegen den Ansatz hin beträchtlich. Diese Verschmälerung kommt in allen fünf untersuchten Fällen durch starke Abnahme der Faserzahl gegen die Insertion hin zustande. Als Ursache für die allmähliche Faserzahlreduktion wurde ein auf verschiedenen Querschnittshöhen liegender Übergang der Muskelfasern in die Sehnenfasern festgestellt. Teils reichen die Sehnenfasern entweder an der Oberfläche des Muskels (als sogenannte Sehnenspiegel) oder seltener auch im Muskelinnern weit nach kranial, und der Muskel-Sehnen-Übergang erfolgt hoch oben; teils sind die Sehnen jedoch kurz, und die Muskelfasern reichen dann entsprechend viel weiter nach kaudal. Diese Feststellung stimmt mit der Ansicht von *Feneis* [1953] über den Bau der spindligen Muskeln vollkommen überein.

In den Fällen mit starker Faserzahldifferenz zwischen kranialen und kaudalen Muskelregionen findet sich mikroskopisch im kaudalen Schnitt ein hoher Prozentsatz von Sehngewebe. Ist dagegen die Faserzahlreduktion nach kaudal gering, so ist dort nur sehr wenig Sehnenmaterial nachzuweisen. Je weiter ein Muskelschnitt gegen den Sehnenansatz hin gelegen ist, um so mehr hat sich das Verhältnis von Muskel- zu Sehngewebe zugunsten des Sehnenmaterials verschoben. Die Faserzahlabnahme und die prozentuale Zunahme des Sehngewebes gehen einander parallel.

Beim *M. rectus abdominis* spielt für die Abnahme der Faserzahl weiterhin der Übergang von Muskelfaserbündeln in die *Linea alba* eine gewisse Rolle. Da es sich jedoch hierbei um eine verhältnismäßig kleine Zahl von Faserbündeln handelt, ist der Einfluß auf die Faserzahlreduktion im kaudalen Bereich des Muskels relativ klein. Eine wesentliche und signifikante Verkleinerung des durchschnittlichen Faserquerschnittes nach kaudal zu ist andererseits nicht zu konstatieren. Auch zeigen die Faserkaliberkurven kranial und kaudal einen annähernd gleichen Verlauf. Die Verjüngung des geraden Bauchmuskels in seinem kaudalen Endbereich kann also nur durch einen gestaffelten Übergang der Muskelfasern in die Sehne mit allmählicher Faserzahlreduktion bedingt sein.

Zusammenfassung

Zwecks Prüfung der Frage, ob die Zuspitzung des *M. rectus abdominis* gegen seine kaudale Insertion hin durch eine Abnahme des durchschnittlichen Muskel-faserquerschnittes oder der Faserzahl bedingt ist, wurde das Faserverhalten dieses Muskels untersucht. Dabei wurde festgestellt, daß der durchschnittliche Faserquerschnitt in kranialen und kaudalen Schnitten praktisch identisch ist. Dagegen ist die Faserzahlreduktion nach kaudal gegen die Insertion hin beträchtlich. An Abfaserungspräparaten kann gezeigt werden, daß sie durch gestaffelte, auf verschiedene Querschnittshöhen verteilte Übergänge von Muskelfasern in Sehnenfasern zustande kommt. Die Muskeln vom Spindeltyp sind demnach den gefiederten Muskeln zuzurechnen.

Summary

The research deals with the problem whether the pointed caudal end of the rectus abdominis muscle is produced by a decrease of the transverse diameter of the muscle fibres or by a reduction of the number of the muscle fibres. It was found that the average transverse diameter of the muscle fibres in both the cranial and the caudal part of the muscle is alike. The number of the muscle fibres in the caudal end of the muscle is reduced. In teased preparations it could be shown that the level of attachment of a muscle fibre to its tendinous fibre varies in the caudal part of the muscle. Fusiform muscles are therefore pennate muscles.

Résumé

L'auteur s'est demandé si l'amincissement en pointe du muscle droit de l'abdomen vers son insertion caudale est le résultat d'une diminution du calibre moyen des fibres musculaires ou bien s'il est déterminé par une diminution numérique des fibres. Les études entreprises permettent la conclusion que le calibre moyen des fibres musculaires est identique dans les portions craniales et caudales; par contre il existe une diminution considérable du nombre des fibres en direction caudale. Cette diminution est le résultat de la transformation de fibres musculaires en fibres tendineuses; cette transformation s'effectue en échelons successifs. Les muscles du type fusiforme doivent être rapprochés des muscles pennés.

LITERATUR

- Bardeen, Ch. R.: Anat. Anz. 23, 241, 1903.
v. Biesiadecki, A. und A. Herzig: S. B. Akad. Wiss. Wien III 33, 146, 1858.
Eisler, P.: Die Muskeln des Stammes; in v. Bardelebens Handbuch d. Anat. d. Menschen, Bd. 2/II/1, p. 563; Fischer, Jena 1912.
Felix, W.: Festschr. A. v. Koelliker, p. 283, Leipzig 1887.
Feneis, H.: Morph. Jb. 76, 161, 1935.
Froriep, A.: Arch. Anat. Physiol., anat. Abt. 1878, p. 416.
Häggqvist, G.: Die Gewebe; in v. Möllendorffs Handbuch d. mikr. Anat. d. Menschen, Bd. II/3, p. 125; Springer, Berlin 1931.
Halban, J.: Anat. H. 3, H. 9, 269, 1894.
Hauck, L.: Dtsch. Z. Nervenheilk. 17, 57, 1900.
Heidenhain, M.: Plasma und Zelle II; in v. Bardelebens Handbuch d. Anat. d. Menschen, Bd. 8/II; Fischer, Jena 1911.
Hopf, G.: Z. mikr.-anat. Forsch. 35, 195, 1934.
Koelliker, A.: Handbuch d. Gewebelehre d. Menschen, Bd. I, p. 356; Engelmann, Leipzig 1889.
Kohashi, Y.: Folia anat. jap. 15, 175, 1937.
Ludwig, K. S.: Acta anat. 15, 23, 1952.
Morpurgo, B.: Virchows Arch. 150, 522, 1897.
Nicaise, M. E.: Arch. génér. Méd., 6^e série, 8, 44, 1866; J. Anat., Paris 25, 562, 1889.
Rollett, A.: S. B. Akad. Wiss. Wien III 21, 176, 1856; III 24, 291, 1857; Denkschr. Akad. Wiss. Wien III 49, 81, 1885.
Schaffer, J.: Lehrbuch d. Histologie u. Histogenese; 3. Aufl., p. 183, Urban und Schwarzenberg, Berlin/Wien 1933.
Schiefferdecker, P.: S. B. niederrhein. Ges. Natur- u. Heilk. Bonn, Sitzung 14. VII. 1902, p. 33; Dtsch. Z. Nervenheilk. 25, 1, 1904; Muskeln u. Muskelkerne, Barth, Leipzig 1909; Pflügers Arch. ges. Physiol. 139, 337, 1911 a; 140, 363, 1911 b; 150, 487, 1913; Z. mikr.-anat. Forsch. 9, 499, 1927.
Schimert, J.: Z. mikr.-anat. Forsch. 36, 215, 1934.
Schwalbe, G. und R. Mayeda: Z. Biol. 27, N. F. 9, 482, 1890.
Straßer, H.: Lehrbuch d. Muskel- u. Gelenkmechanik, Bd. II, p. 53. Springer, Berlin 1913.
Voß, H.: Z. mikr.-anat. Forsch. 36, 179, 1934.
Wohlfahrt, G.: Z. mikr.-anat. Forsch. 37, 621, 1935.

Eingegangen 6. Januar 1954

